

⑬ Int. Cl.[°]

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成3年(1991)1月16日

G 02 F 1/313

7348-2H

2/00

7348-2H

H 04 B 10/02

8523-5K H 04 B 9/00

U

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全9頁)

⑮ 発明の名称 波長多重信号光分離切替装置

⑯ 特 願 平1-143654

⑰ 出 願 平1(1989)6月5日

⑱ 発 明 者 芦 谷 文 博 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑳ 代 理 人 弁理士 井出 直孝

明 細 書

1. 発明の名称

波長多重信号光分離切替装置

2. 特許請求の範囲

1. 波長多重された信号光を分岐する分岐手段と、
分岐された信号光のそれぞれについて特定波長
の光を透過する波長選択手段と

を備えた波長多重信号光分離切替装置において、
上記波長選択手段は、

光増幅度の波長特性が異なる複数の希土類元素
添加光ファイバと、

この複数の希土類元素添加光ファイバの励起状
態を個別に制御する手段と

を備えたことを特徴とする波長多重信号光分離
切替装置。

2. 波長多重された信号光を分岐する分岐手段と、
分岐された信号光のそれぞれについて特定波長
の光を透過する波長選択手段と

を備えた波長多重信号光分離切替装置において、
上記波長選択手段は、

光増幅度の波長特性が異なる複数の希土類元素
が添加された光ファイバと、

この光ファイバに含まれる希土類元素の励起状
態を個別に制御する手段と

を備えたことを特徴とする波長多重信号光分離
切替装置。

3. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は光ファイバ中に波長の異なる複数の信
号光を伝播させて信号伝送を行う光ファイバ通信
に利用する。

本発明は、ある一本の光ファイバ中を伝播する
波長の異なる複数の信号光を分離して各信号を異
なった複数の光ファイバに伝播させる波長多重信
号光分離切替装置において、希土類元素添加光フ
ァイバを用いることにより、信号光の強度を劣化
させることなく波長を選択するものである。

〔従来の技術〕

波長多重伝送は、波長の異なる複数の光信号を一本の光ファイバを介して多重伝送する伝送形態であり、広い波長領域にわたる光ファイバの低損失性を有効に利用できる点に特徴がある。

第10図は伝送された波長多重信号光を分離する従来の装置を示す。

送信側では、信号源101、102からの信号について、それぞれ波長の異なる光源103、104により信号光として出力する。これらの信号光は、合波器105により合波され、一本の光ファイバ106に波長多重信号光として入射する。

受信側では、光ファイバ106を伝播した波長多重信号光は、分岐器107により分岐され、光波長フィルタ108、109により波長分離される。波長分離された信号光は、それぞれ、受光素子110および検波回路112、受光素子111および検波回路113により電気信号に変換される。

現在の技術では、合波器105、分岐器107および光波長フィルタ108、109による信号光の透過

損失が大きく、電気信号の段階で増幅し、再び光信号に変換する必要がある。すなわち、信号増幅器114、115によりそれぞれの信号を増幅し、光源116、117からそれぞれ光ファイバ118、119に伝播させる必要がある。

また、一つの光波長フィルタでは異なる波長の信号光を交互に透過させることが困難であり、交互に透過させるためには、複数の光波長フィルタを機械的に駆動して信号光の伝播路に接地する必要がある。

〔発明が解決しようとする課題〕

このように従来の技術では、分離装置中での信号光の強度劣化が大きく、また、一つの光波長フィルタでは異なった波長の信号光を交互に透過させることが困難であった。このため、波長多重信号光を伝送路の途中で分離してさらに遠方の受信端に送る場合には、信号光を増幅するための光電気回路および電気光変換回路や、複数の光フィルタとその駆動回路とを配置することが必要となり、構成が複雑となる欠点があった。また、同じ理由

により、分離された波長の異なる信号光の伝播経路を任意に切り替えるために、多数の波長光フィルタとその駆動回路を用いる必要があった。

本発明は、以上の課題を解決し、簡単な構成で波長多重信号光の分離および分離された信号光の伝送路の切替が可能な波長多重信号光分離切替装置を提供することを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

本発明の波長多重信号光分離切替装置は、波長多重された信号光を分岐する分岐手段と、分岐された信号光のそれぞれについて特定波長の光を透過する波長選択手段とを備えた波長多重信号光分離切替装置において、波長選択手段は、光増幅度の波長特性が異なる複数の希土類元素添加光ファイバと、この複数の希土類元素添加光ファイバの励起状態を個別に制御する手段とを備えたことを特徴とする。

波長選択手段は、光増幅度の波長特性が異なる複数の希土類元素が添加された光ファイバと、この光ファイバに含まれる希土類元素の励起状態を

個別に制御する手段とを備えてもよい。

〔作 用〕

希土類元素が添加された光ファイバに、その希土類元素、または一つの希土類元素の増幅度が最大となる波長で信号光を励起する。これにより、励起された希土類元素に対応する波長の信号光だけを増幅でき、波長多重光を各々の波長の信号光に分離できる。

また、異なる希土類元素が添加された光ファイバを縦続接続してそれぞれの励起状態を制御するか、または複数の希土類元素が添加された光ファイバを用いる場合には、希土類元素を励起するための励起光源の動作状態を制御するだけで、それぞれの経路を透過する透過波長を制御できる。これにより、波長の異なる信号光の伝送経路を切り替えることができる。

〔実施例〕

第1図は本発明第一実施例波長多重信号光分離切替装置のブロック構成図である。

この装置は、波長多重された信号光を分岐する

分岐手段として光分岐器2を備え、さらに、分岐された信号光のそれぞれについて特定波長の光を透過する波長選択手段を備える。

ここで本実施例の特徴とするところは、波長選択手段に、光増幅度の波長特性が異なる複数の希土類元素添加光ファイバとしてNd添加光ファイバ7、8およびEr添加光ファイバ11、12を備え、Nd添加光ファイバ7、8およびEr添加光ファイバ11、12の励起状態を個別に制御する手段として光結合器5、6、9、10、Nd励起光源15、16、Er励起光源17、18および制御回路19を備えたことにある。

光分岐器2の入射端には入力光ファイバ1が接続され、光分岐器2の二つの出射端は、接続用光ファイバ3、4を介してそれぞれ光結合器5、6の一方の入射端に接続される。光結合器5、6の他方の入射端には、制御回路19の制御により、それぞれNd励起光源15、16からの励起光が入射する。光結合器5、6の出射端はそれぞれNd添加光ファイバ7、8を介して光結合器9、10の一方の入射端に接続される。光結合器9、10の他方の入射端

には、制御回路19の制御により、それぞれEr励起光源17、18からの励起光が入射する。光結合器9、10の出射端は、それぞれEr添加光ファイバ11、12を経由して出力光ファイバ13、14続される。

第2図はNd添加光ファイバの増幅特性の一例を示し、第3図はNd添加光ファイバの損失特性の一例を示す。

Nd添加光ファイバは、石英系光ファイバまたはフッ化物系光ファイバのコアに、ネオジムNdを添加したものである。

第2図に示した特性は、ネオジムの添加量1000 ppm、ファイバ長0.5 mのNd添加フッ化物光ファイバに、波長0.514 μm の励起光を約690 mWのパワーで入射したときに得られたものである。また、第3図に示した特性は、同じNd添加フッ化物光ファイバを励起光なしで用いたときに得られたものである。これらの特性は、ブリアレイ、ミラー共著「アンプリフィケーション・アンド・レージング・アト・1350nm・イン・ア・ネオジミウム・ドープト・フロロジルコネイト・ファイバ」、エレ

クトロニクス・レターズ第24巻第7号第438頁から第439頁、1988年 (M.C. Brierley, C.A. Mil-lar, "Amplification and lasing at 1350nm in a neodymium doped fluorozirconate fibre", Elec. Lett., Vol. 24, No. 7, pp. 438-439 (1988)) に示されたものである。

増幅される前の信号光の強度は数 μW ～数百 μW 程度である。増幅度はネオジムの添加量、Nd添加光ファイバの長さおよび励起光のパワーによって異なる。また、増幅度が最大となる波長は、主に励起光の波長および添加される光ファイバの原材料に依存して変化する。

また、ネオジム元素を石英系光ファイバに添加すると、添加されたネオジムが0.5、0.8または0.9 μm 付近の波長の光に励起され、0.9、1.06、1.35 μm 付近の信号光を増幅する。この詳細については、例えばポール・マークハート著「レビュー・オブ・レア・アース・ドープト・ファイバ・レーザズ・アンド・アンプリファイアズ」、プロシーディング・オブIEEE、第135巻Pt. J第6号、第

385頁から第407頁、1988年 (Paul Urquhart, "Review of rare earth doped fibre lasers and amplifiers", Proc. IEEE, Vol. 135, Pt. J, No. 6, pp. 385-407 (1988)) に示されている。

第4図はEr添加光ファイバの増幅特性の一例を示し、第5図はEr添加光ファイバの損失特性の一例を示す。

第4図の特性は、アメリカ合衆国テキサス州ヒューストンで開催されたオプティカル・ファイバ・コミュニケーション・コンファレンス1989のテクニカル・ダイジャスト、論文番号PD15、ハギモト他、「ア・212 km・ノンリピーテッド・トランスミッション・エクスぺアリメント・アト・1.8 Gb/s・ユージング・LDパンプト・Er³⁺ドープト・ファイバ・アンプリファイアズ・イン・アン・IM/ダイレクターディテクション・リピータ・システム」(K. Hagimoto, et al., "A 212km non-repeated transmission experiment at 1.8 Gb/s using LD pumped Er³⁺-doped fiber amplifier in an IM/Direct-Detection repeater system", Optical

Fiber Communication conference 1989 Technical Digest (Houston, Texas), 1989, PD15) に示されたものである。

また、第5図の特性は、ナカザワ、キムラ、スズキ共著、「エフィシエント・Er³⁺ドープト・オプティカル・ファイバ・アンプリファイア・ポンプト・バイ・ア・1.48 μm InGaAsPレーザ・ダイオード」、アプライド・フィジクス・レターズ、第54巻第4号、1989年、第295頁から第297頁 (M. Nakazawa, Y. Kimura and K. Suzuki, "Efficient Er³⁺-doped optical fiber amplifier pumped by a 1.48 μm InGaAsP laser diode", Appl. Phys. Lett., Vol. 54, No. 4, pp. 295-297 (1989)) に示されたものである。

Er添加光ファイバは、石英系光ファイバもしくはフッ化物系光ファイバのコアに、エルビウム元素を添加したものである。エルビウム元素を石英系光ファイバに添加すると、添加されたエルビウムが0.8、1.0 または1.5 μm 付近の波長を有する光に励起され、1.5 μm 付近の信号光を増幅する。

の信号光は接続用光ファイバ4に入射する。ここで、波長多重信号光は波長 $\lambda_1 = 1.35 \mu\text{m}$ の信号光と、波長 $\lambda_2 = 1.535 \mu\text{m}$ の信号光とを含むものとする。

接続用光ファイバ3に分岐された信号光は、光結合器5を経由してNd添加光ファイバ7に入射する。ここで、Nd励起光源15が動作状態にあるので、ここから励起光が発生し、光結合器5を経由してNd添加光ファイバ7を励起する。このとき、波長多重信号光に含まれる波長 λ_1 の信号が、励起状態にあるNd添加光ファイバ7中を伝播するうちに増幅される。これに対して波長 λ_2 の信号光は、Nd添加光ファイバ7の損失により強度が低下する。

Nd添加光ファイバ7により増幅された波長 λ_1 の信号光と、減衰した波長 λ_2 の信号光とは、光結合器9を経由してEr添加光ファイバ11に入射する。Er励起光源17が動作状態であれば、Er添加光ファイバ11が励起状態となり、波長 λ_2 の信号光が増幅される。しかし、ここではEr励起光源17が動作停止状態にあるため、波長 λ_1 、 λ_2 のい

第4図に示した特性は、エルビウムの添加量が30ppm、ファイバ長が約90mのEr添加光ファイバに、波長1.48 μm の励起光を約80mWのパワーで入射したときに得られたものである。増幅度はエルビウムの添加量、Er添加光ファイバの長さおよび励起光のパワーによって異なる。また、増幅度が最大となる波長は、主に励起光の波長、添加される光ファイバの原材料およびその光ファイバの長さに依存して変化する。最も効率的に信号光を増幅するために、エルビウムの添加量が約1000ppm、光ファイバ長2~3m、励起光パワー約50mW、励起波長1.48 μm の条件がよく利用されている。

次に第1図に示した実施例の動作について説明する。

初期状態として制御回路19は、Nd励起光源15とEr励起光源18とを動作状態とし、Nd励起光源16とEr励起光源17とを動作停止状態に設定する。このとき、入力光ファイバ1を伝播してきた波長多重信号光は、光分岐器2により等分され、半分の信号光は接続用光ファイバ3に入射し、残りの半分

れの信号光も増幅されず、Er添加光ファイバ11内で損失を受ける。

このようにして、波長 λ_1 の信号光はNd添加光ファイバ7内で増幅されるが、波長 λ_2 の信号光は大きな損失をうけて減衰してしまう。このとき、Nd添加光ファイバ7の増幅度を調整し、光分岐器2、接続用光ファイバ3、光結合器5、9、Nd添加光ファイバ7およびEr添加光ファイバ11により生じる波長 λ_1 の信号光の損失が補償されるように増幅を行うことにより、波長 λ_1 の信号光のみが入力光ファイバ1から出力光ファイバ13に伝達される。

接続用光ファイバ4に分岐された信号光は、Nd励起光源16が動作停止状態にあるため、Nd添加光ファイバ8内で波長 λ_1 、 λ_2 の双方の信号光が減衰する。また、Er励起光源18が動作状態にあるため、Er添加光ファイバ12内では、波長 λ_1 の信号光が減衰し、波長 λ_2 の信号光のみが増幅される。したがって、Er添加光ファイバ12の増幅度を調整し、光分岐器2、接続用光ファイバ4、光結

合器6、10、Nd添加光ファイバ8およびEr添加光ファイバ12により生じる波長 λ_1 の損失を補償するように増幅することにより、波長 λ_1 の信号のみが入力光ファイバ1から出力光ファイバ14に伝達される。

また、制御回路19によりNd励起光源15、Er励起光源18を動作停止状態に設定し、Nd励起光源16、Er励起光源17を動作状態に設定すると、波長 λ_1 の信号光は入力光ファイバ1から出力光ファイバ14に伝達され、波長 λ_2 の信号光は入力光ファイバ1から出力光ファイバ13に伝達される。

このように、制御回路19からNd励起光源15、16およびEr励起光源の動作状態を高速に制御することにより、波長 λ_1 と波長 λ_2 との信号光を瞬時に分離選択でき、それぞれ別々の出力光ファイバ13、14に伝達することができる。

また、Nd添加光ファイバ7と光結合器9の間、Nd添加光ファイバ8と光結合器10の間、Er添加光ファイバ11と出力光ファイバ13の間およびEr添加光ファイバ12と出力光ファイバ14の間にそれぞれ、

る手段として光結合器5、6、23、24、Nd励起光源15、16、Er励起光源17、18および制御回路19を備えたことにある。

光分岐器2の入射端には入力光ファイバ1が接続され、光分岐器2の二つの出射端はそれぞれ接続用光ファイバ3、4を介して光結合器5、6の一方の入射端に結合する。光結合器5の他方の入射端には光結合器23を経由してNd励起光源15およびEr励起光源17が接続され、光結合器6の他方の入射端には光結合器24を経由してNd励起光源16およびEr励起光源18が接続される。光結合器5、6の出射端は、それぞれNd・Er共添加光ファイバ21、22を介して出力光ファイバ13、14に接続される。

Nd・Er共添加光ファイバ21、22は、石英系光ファイバ、フッ化物系光ファイバなどの光ファイバのコアに、ネオジムとエルビウムと添加した光ファイバである。

第7図はNd・Er共添加光ファイバの増幅特性の一例を示し、第8図は損失特性の一例を示す。これらの特性は、キムラ・ナカザワ共著、「マルチ

信号光は透過し励起光は遮断する光波長フィルタを配置することが望ましい。これにより、Nd添加光ファイバ7、8またはEr添加光ファイバ11、12を伝播してきた励起光と信号光とを分離し、信号光だけを伝播させることができ、雑音の少ない信号光の伝播が可能となる。

第6図は本発明第二実施例波長多重信号光分離切替装置のブロック構成図である。

この実施例は、Nd添加光ファイバとEr添加光ファイバとを別々に用いるのではなく、これらを一体化してNd・Er共添加光ファイバを用いた点が第一実施例と大きく異なる。さらに、これに付随して、Nd励起光とEr励起光とを共通の光結合器を介してNd・Er共添加光ファイバに入射する点が第一実施例と異なる。

すなわち本実施例の特徴とするところは、波長選択手段に、光増幅度の波長特性が異なる複数の希土類元素が添加された光ファイバとしてNd・Er共添加光ファイバ21、22を備え、この光ファイバに含まれる希土類元素の励起状態を個別に制御す

ウェイブレンクス・cwレーザ・オシレーション・イン・ア・Nd³⁺・アンド・Er³⁺・ダブリー・ドーブド・ファイバ・レーザ」、アプライド・フィジクス・レターズ、第53巻第14号、1988年、第1251頁から第1253頁 (Y. Kimura and M. Nakazawa, "Multi-wavelength cw laser oscillation in a Nd³⁺ and Er³⁺ doubly doped fiber laser", Appl. Phys. Lett., Vol. 53, No. 14, pp. 1251-1253 (1988)) に示されたものである。

ここで、第7図の特性は、ネオジムの添加量が100ppm、エルビウムの添加量が900ppmのNd・Er共添加光ファイバに波長0.514 μm の励起光を入射したときに得られたものである。励起光パワーは数mWないし数百mW程度である。このNd・Er共添加光ファイバを第一実施例におけるEr添加光ファイバの励起条件、すなわち励起波長1.48 μm 、励起パワー約50mWで励起すると、エルビウム元素だけが励起されて波長1.535 μm の信号光が増幅され、波長0.9 μm で励起すると、ネオジム元素だけが励起されて波長1.06 μm および1.35 μm の信号光が増幅され

る。

次に、第6図に示した実施例の動作について説明する。

まず、Nd励起光源15を動作状態、Er励起光源17を動作停止状態とすると、Nd励起光源15で発生した励起光は、光結合器23、5を経由してNd・Er共添加光ファイバ21に入射する。この励起光によりNd・Er共添加光ファイバ21内のネオジムが励起状態となる。このとき、光分岐器2で分岐された波長 λ_1 、 λ_2 を含む信号光がNd・Er共添加光ファイバ21に入射すると、波長 λ_1 の信号光のみが増幅され、波長 λ_2 の信号光は減衰する。したがって、波長 λ_1 の信号光のみが入力光ファイバ1から出力光ファイバ13に伝達される。

また、Nd励起光源15を動作停止状態、Er励起光源17を動作状態とすると、Er励起光源17で発生した励起光がNd・Er共添加光ファイバ21内のエルビウムを励起し、波長 λ_1 の信号だけを増幅できるようになる。すなわち、波長 λ_2 の信号光のみを入力光ファイバ1から出力光ファイバ13に伝

達させることができる。

Nd励起光源16、Er励起光源18、光結合器24、6、およびNd・Er共添加光ファイバ22についても同様であり、Nd励起光源16およびEr励起光源18の動作状態により、入力光ファイバ1から出力光ファイバ14に伝達される信号光の波長を制御できる。

このように、Nd・Er共添加光ファイバ21、22に入射される励起光を切り替えることにより、波長 λ_1 と波長 λ_2 との信号光を分離でき、それぞれの波長の信号光を別々の出力光ファイバ13、14に伝達できる。

第9図は本発明第三実施例波長多重信号光分離切替装置のブロック構成図である。

この実施例は、Nd添加光ファイバとEr添加光ファイバとを並列に配置したことが第一実施例と異なる。

光分岐器2の入射端には入力光ファイバ1が接続され、光分岐器2の二つの出射端はそれぞれ光分岐器31、32の入射端に接続される。

光分岐器31の二つの出射端は、それぞれ、接続

用光ファイバ34、33を介して光結合器5、9の一方の入射端に接続される。光結合器5、9の他方の入射端には、それぞれNd励起光源15、Er励起光源17が接続される。光結合器5、9の出射端は、それぞれ接続用光ファイバ7、11を介して光結合器37の入射端に接続される。光結合器37の出射端には出力光ファイバ13が接続される。

光分岐器32の二つの出射端は、それぞれ、接続用光ファイバ35、36を介して光結合器6、10の一方の入射端に接続される。光結合器6、10の他方の入射端には、それぞれNd励起光源16、Er励起光源18が接続される。光結合器6、10の出射端は、それぞれ接続用光ファイバ8、12を介して光結合器38の入射端に接続される。光結合器38の出射端には出力光ファイバ14が接続される。

この実施例において、Nd励起光源15を動作状態、Er励起光源17を動作停止状態にしておくと、光分岐器31で分岐された信号光のうち、Nd添加光ファイバ7に入射した信号光の波長 λ_1 成分が増幅され、Er添加光ファイバ11に入射した信号光は減衰

する。これらの信号光を光合波器37で結合すると、増幅された波長 λ_1 の信号光のみが出力光ファイバ13に出力される。また、逆の動作状態であれば波長 λ_2 の信号光が出力光ファイバ13に得られる。出力光ファイバ14側についても同様である。

〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明の波長多重信号光分離切替装置は、波長多重信号光を増幅度の異なる希土類元素添加光ファイバ中で増幅または減衰させることにより、増幅された波長の信号光のみを出力光ファイバに伝達させることができる。また、希土類元素添加光ファイバの励起状態を制御することにより、任意の出力光ファイバに任意の信号光を伝播させることができ、信号光の伝播経路を切り替えることができる。

本発明は、複雑な電気回路を用いることなく波長多重信号光の分離および切替を行うことができ、光波長多重通信に利用して特に効果がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明第一実施例波長多重信号光分離切替装置のブロック構成図。

第2図はNd添加光ファイバの増幅特性の一例を示す図。

第3図はNd添加光ファイバの損失特性の一例を示す図。

第4図はEr添加光ファイバの増幅特性の一例を示す図。

第5図はEr添加光ファイバの損失特性の一例を示す図。

第6図は本発明第二実施例波長多重信号光分離切替装置のブロック構成図。

第7図はNd・Er共添加光ファイバの増幅特性の一例を示す図。

第8図はNd・Er共添加光ファイバの損失特性の一例を示す図。

第9図は本発明第三実施例波長多重信号光分離切替装置のブロック構成図。

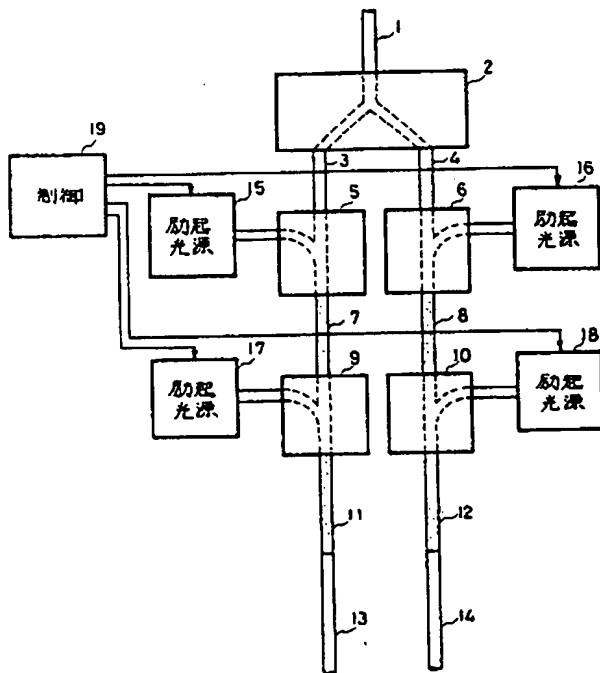
第10図は伝送された波長多重信号光を分離する

従来の装置のブロック構成図。

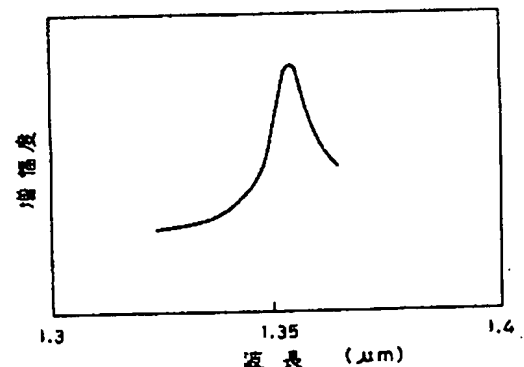
1…入力光ファイバ、2、31、32…光分岐器、3、4、33~36…接続用光ファイバ、5、6、9、10、23、24、37、38…光結合器、7、8…Nd添加光ファイバ、11、12…Er添加光ファイバ、13、14…出力光ファイバ、15、16…Nd励起光源、17、18…Er励起光源、19…制御回路、21、22…Nd・Er共添加光ファイバ、101、102…信号源、103、104、116、117…光源、105…合波器、106、118、119…光ファイバ、107…分岐器、108、109…光波長フィルタ、110、111…受光素子、112、113…検波回路、114、115…信号増幅器。

特許出願人 日本電信電話株式会社

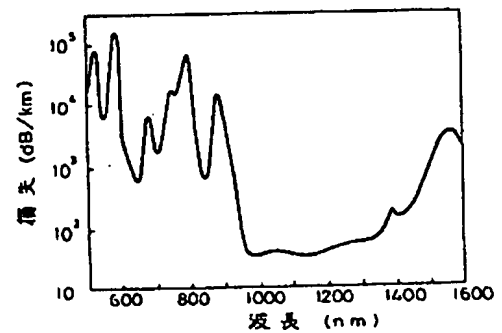
代理人 弁理士 井出直孝



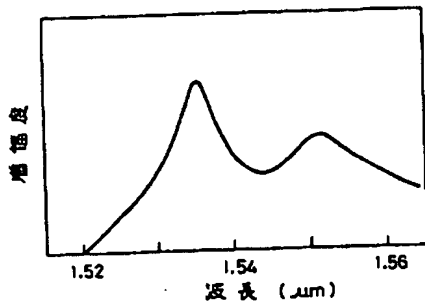
第一実施例
第1図



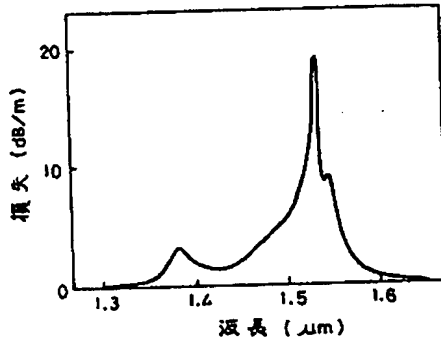
ネオジム添加光ファイバの増幅特性
第2図



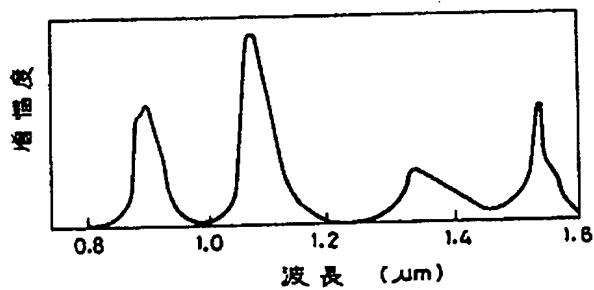
ネオジム添加光ファイバの損失特性
第3図



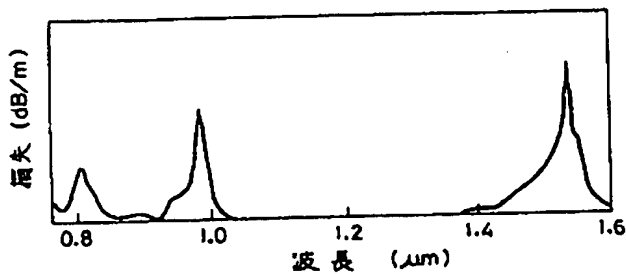
エルビウム添加光ファイバの増幅特性
第4図



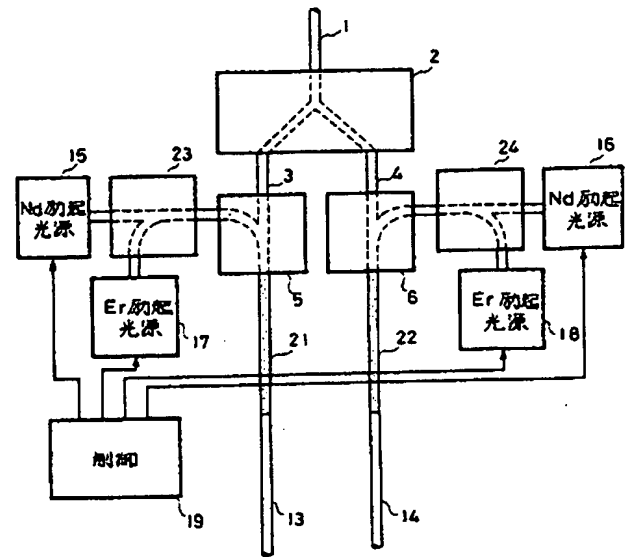
エルビウム添加光ファイバの損失特性
第5図



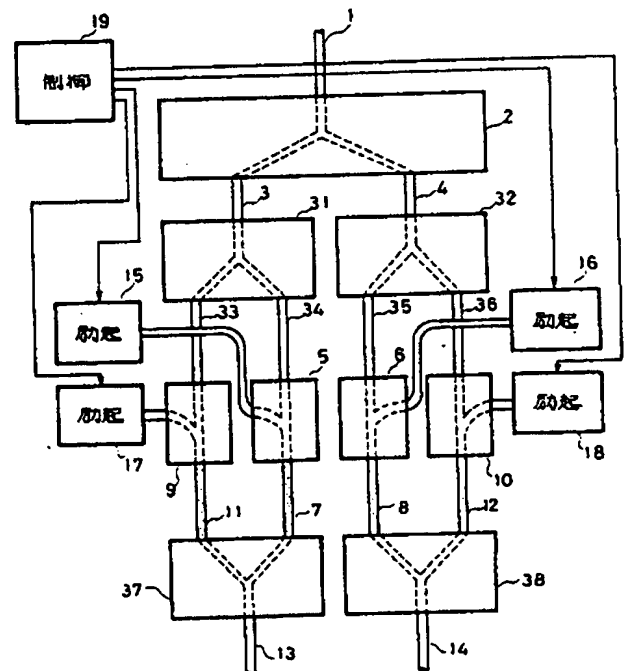
ネオジム・エルビウム共添加光ファイバの増幅特性
第7図



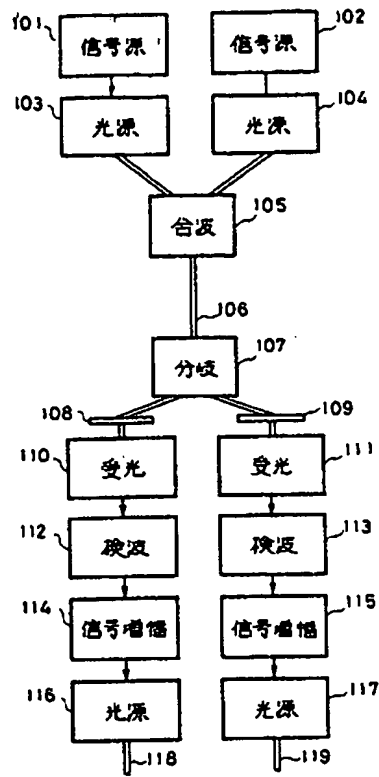
ネオジム・エルビウム共添加光ファイバの損失特性
第8図



第6図
実施例



第9図
実施例



従来例
第 10 図